

The Experimental Assessment of the Impact of Kevlar Fibers in Improving the Resistance Properties and Permeability of Concretes Containing Nano-silica

Saber. Piroti¹,

K.amalRahmani^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

² Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran



[10.22125/IWE.2023.414738.1745](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.414738.1745)

Received:
July 3, 2023
Accepted:
October 4, 2023
Available online:
May 5, 2024

Keywords:
**Compressive
Resistance, Tensile
Strength, Permeability,
Kevlar Fibers, Nano-
silica**

Abstract

Concrete is one of the most widely used building materials in developed and developing countries. The performance of concrete depends on its ingredients. One of the characteristics of concrete as a brittle material is its low tensile strength and brittleness, so it needs to be strengthened to be used as the most basic building material. The main advantage of fiber concrete is that it turns a brittle concrete into a ductile material. The addition of fibers in concrete can stop the small cracks that cause its gradual failure. In fiber-reinforced concrete, thousands of tiny fibers are randomly scattered and distributed throughout the concrete during mixing, this improves the properties of the concrete in all respects. In this research, the aim is to investigate the role of Kevlar fibers in improving the compressive resistance, tensile strength and permeability of Nano-silica concretes. The concrete samples made have 4% of Nano-silica and the ratio of water to cement in this design is equal to 0.32 and the amount of Kevlar fibers used is 0, 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40% by volume of concrete. The results of the compressive resistance test show that in these tests, by adding 0.10% of fibers (optimal percentage), the compressive resistance improves by 28, 24, and 23% at the ages of 7, 28, and 90 days, respectively. From the results of the tensile strength tests, it was found that by adding 0.30% of fibers (optimal percentage), the tensile strength of the samples increases by 64%. The permeability test was performed using the Penetration Method, which showed a 30% improvement in water permeability in samples containing 0.20% of fibers (optimal percentage).

1. Introduction

In recent years, the durability and service life of cementitious materials have been playing an important role in their operation as construction and pavement materials. Fiber reinforced concrete is a cement-based composite material that has been developed in recent years and is successfully used in construction due to its high tensile and flexural strength, impact resistance, low permeability and frost resistance.

The purpose of this research is to investigate the effect of Kevlar fibers on the behavioral properties of concrete under stress conditions caused by compressive and tensile loads and to study the permeability of Nano-silica concretes in a wider range and to obtain their optimal percentage for use in the concrete of hydraulic and construction structures.

* **Corresponding Author:** K. Rahmani

Address: Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Email: k.rahmani@iau-mahabad.ac.ir

Tel: +989143444387

2. Materials and Methods

Figure 1 displays Kevlar fibers used in concrete in the present paper. In the design of mixing fiber concrete samples containing Nano-silica powder, the following were considered:

- The characteristic design strength has considered 65 MPa.
- The water-cement ratio in all mixing designs was considered constant and 0.32.
- The cement used is Portland type 1 (type 52.5N).
- The type of fibers used in concrete is Kevlar with a length and diameter of 19 and 0.01 mm, manufactured by Fercofiber Company in Tehran, and the volume amount of the desired fibers was 0, 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40%. Figure 1 shows Kevlar fibers used in concrete.
- Consumable Nano-silica powder manufactured by Isatis Tehran Company and 4 percent by weight of cement was replaced. Figure 2 shows the Nano-silica powder used in concrete.
- The aggregates (gravel and sand) was ballast kind.
- The maximum size (diameter) of aggregates was 12 mm.
- The slump test range of specimens was 50 to 160 mm according to ASTM C143-78 standard.
- Glenium SKY 592 was used as super plasticizer.
- Mixing design of Nano-silica concrete containing Kevlar fibers has been carried out according to ACI 211 standard by weight method.



Fig. 1. Kevlar fibers used in concrete



Fig. 2. Nano-silica powder used in concrete

3. Results

Compressive strength test results

Figure 3 shows the curve of changes in compressive strength for 7, 28 and 90 days of samples containing fibers and without fibers. According to this curve, it can be concluded that the use of 0.10% of fibers increases the compressive strength at the ages of 7, 28 and 90 days.

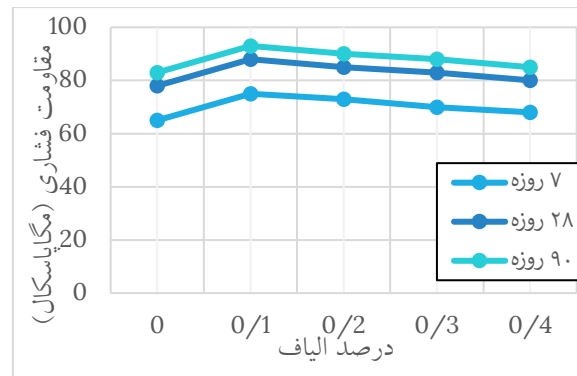


Fig. 3. The variation curve of compressive strength of specimens at 7, 28 and 90 days with respect to fiber percent

Tensile strength test results

Figure 4 shows that by adding 0.10 percent of fibers, a significant effect is created in increasing the tensile strength of the samples, and in higher fiber ratios, the tensile strength increases with a lower slope. Also, the use of fibers up to 0.30% increases the tensile strength of the samples, and with the addition of fibers more than 0.30%, the tensile strength of the samples decreases.

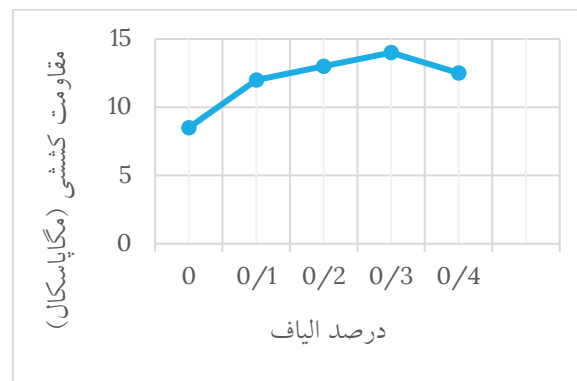


Fig. 4. The fluctuation curve of tensile strength of concrete samples with respect to fiber percent

Microstructures (SEM)

Studying the microstructure of cement paste and concrete using scanning electron microscope images (SEM) has revealed a new horizon in concrete technology in recent years. Concrete characteristics including specific gravity and all kinds of chemical reactions and hydration that are created in the initial and final setting process of concrete have a direct and close relationship with the concrete microscopic structure. Therefore, studying the microstructure of concrete in the process of cement hydration and the placement state of concrete besides the various admixtures; materials added to concrete, including various types of fibers and pozzolans using scanning electron microscope (SEM) which are very important. In this investigation, Kevlar fibers and Nano-silica were added to concrete and detailed studies were done on their arrangement in the concrete structure.

Figure 5 shows the microstructure of reference concrete samples (samples without fibers and Nano-silica) and Figure 6 shows the microstructure of concrete samples containing 0.30% Kevlar fibers and 4% Nano-silica.

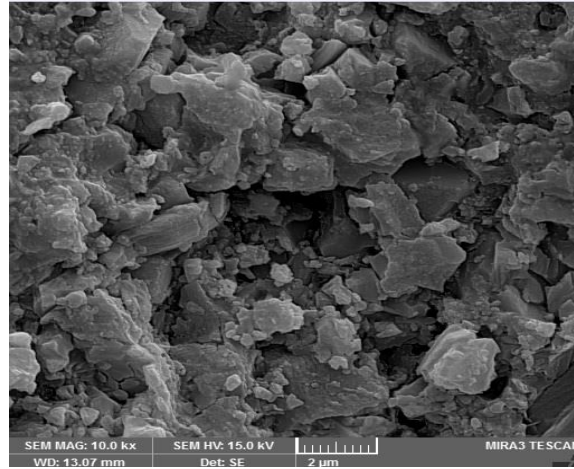


Fig. 5. Microstructure (SEM), reference concrete samples, without fibers and Nano-silica

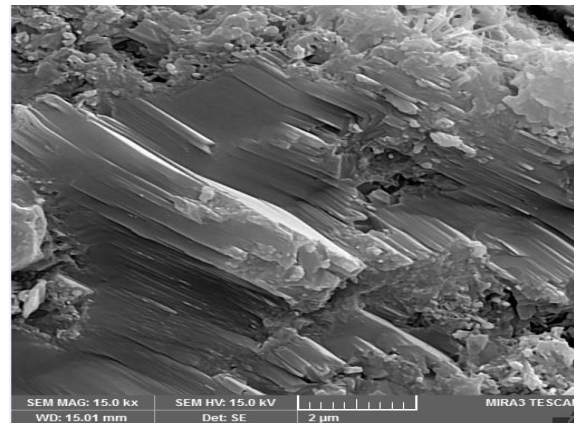


Fig. 6. Microstructure (SEM), concrete samples containing 0.30% Kevlar fibers and 4% Nano-silica

4. Discussion and Conclusion

In this research, by examining the advantages of using Nano-silica concretes containing Kevlar fibers, concrete samples were evaluated in terms of compressive, tensile strength and permeability. The results obtained are as follows:

- The use of 0.10% of fibers increases the compressive strength at the ages of 7, 28 and 90 days. With the increase of fibers more than 0.10%, the compressive strength of the samples decreases. The reason for this behavior is that when the amount of fibers in concrete exceeds the optimal value, due to the improper distribution of fibers, the compressive strength values decrease at all ages. Also, due to the fixed of the super plasticizer in all the samples, with the increase in fiber percentage, the slump of concrete decreases, which also affects the reduction of compressive strength of concrete.
- By adding 0.10 percent of fibers, a significant effect is created in increasing the tensile strength of the samples, and in higher fiber ratios, the tensile strength increases with a lower slope. Also, the use of fibers up to 0.30% increases the tensile strength of the samples, and with the addition of fibers more than 0.30%, the tensile strength of the samples decreases. In other words, adding fibers more than 0.30% to the samples, there is a possibility of balling phenomenon, as a result of which the effect of fibers in concrete will be practically lost.
- The use of 0.20% of fibers reduces the depth of water penetration (reduction of permeability) in the samples, and by adding more than 0.20% of fibers, the permeability of concrete increases. The cause

of this concrete behavior is the porosity of most of the samples due to the addition of fibers more than the optimal amount.

- The reason for the decrease in permeability in concretes containing fibers is due to the placement of fibers between the communication channels of the pores and blocking them, as a result of which the capillary property that is the factor of intensification of permeability is removed and the permeability of concrete samples is reduced.
- According to the electron microscope images (SEM), fiber concretes containing Nano-silica have a dense structure, which increases their compressive and tensile strength, and reduces their porosity and permeability, which ultimately improves the mechanical properties of concrete.

5. Six important references

- 1) Piroti, S., Najarchi, M., Hezavehi, E., Najafizadeh, M.M., Mirhosseini, S.M., 2020, “The experimental assessment of the effect of polypropylene fibers on the improvement of nano-silica concrete behavior”, *Scientia Iranica*, vol. 27(2), pp. 682-692.
- 2) Rahmani, K., Piroti, S., Ghameian, M., 2020, “Analysis of the Effect of Kevlar Fibers on Abrasion Resistance, Flexural Strength and Hydraulic Conductivity Coefficient of Silica Fume Concretes”, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, vol. 44(2), pp. 669–674.
- 3) Alsadey, S., Salem, M., 2016, “Influence of polypropylene fiber on strength of concrete”, *American Journal of Engineering Research*, vol. 5(7), pp. 223-226.
- 4) ASTM C 496, 2010, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 5) ASTM C136, 2010, Standard Specification for Standard Sand, Annual Book of ASTM standards.
- 6) ISO 1920-5, 2012, Testing of Concrete-Part 5: Properties of Hardened Concrete other than Strength, Article 5 of this standard specifies the procedure for determination of the depth of penetration of water under pressure.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



ارزیابی آزمایشگاهی تاثیر الیاف کولار در بهبود خصوصیات مقاومتی و نفوذپذیری بتن های حاوی نانوسیلیس

صابر پیروتی^۱، کمال رحمانی^{۲*}

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

مقاله پژوهشی

چکیده

یکی از ویژگی های بتن به عنوان یک ماده ترد، مقاومت کششی پایین و شکننده بودن آن است، بنابراین برای استفاده به عنوان اساسی ترین مصالح ساختمانی، نیاز به تقویت دارد. در بتن تقویت شده الیافی، هزاران الیاف کوچک در طول اختلاط به طور تصادفی در بتن پراکنده و توزیع می شوند، بنابراین خواص بتن را در تمام جهات بهبود می بخشد. در این تحقیق هدف بررسی نقش الیاف کولار در بهبود مقاومت فشاری، کششی و نفوذپذیری بتن نانوسیلیسی می باشد. نمونه های بتنی ساخته شده دارای ۴ درصد نانوسیلیس و نسبت آب به سیمان در این طرح برابر ۰/۳۲ بوده و مقدار الیاف کولار ۰، ۰/۱۰، ۰/۲۰، ۰/۳۰ و ۰/۴۰ درصد حجمی بتن مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می دهد که در این آزمایشات با افزودن ۰/۱۰ درصد الیاف (درصد بهینه)، مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بترتیب به میزان ۲۸، ۲۴ و ۲۳ درصد بهبود می یابد. از نتایج آزمایشات مقاومت کششی مشخص شد که با اضافه کردن ۰/۳۰ درصد الیاف (درصد بهینه)، مقاومت کششی نمونه ها به میزان ۶۴ درصد افزایش نشان می دهد. آزمایش نفوذپذیری به روش عمق نفوذ (Penetration Method) انجام گرفت، که در نمونه های حاوی ۰/۲۰ درصد الیاف (درصد بهینه)، میزان نفوذپذیری آب ۳۰ درصد بهبود نشان داد.

واژه های کلیدی: مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذپذیری، الیاف کولار، نانوسیلیس

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران. ایمیل: s.piroti@iau-mahabad.ac.ir

^۲ گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران. ایمیل: k.rahmani@iau-mahabad.ac.ir (نویسنده مسئول مقاله)

مقدمه

بتن تقویت شده الیافی یک ماده کامپوزیت بر پایه سیمان است که در سال های اخیر توسعه یافته و به دلیل مقاومت کششی و خمشی بالا، مقاومت در برابر ضربه، نفوذپذیری پایین و مقاومت در برابر یخ زدگی، با موفقیت در ساخت و سازها استفاده می شود (Alsadey and Salem, 2016). لی و همکاران، یک مطالعه تجربی برای بررسی ظرفیت خمشی بتن تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن با مقاومت بالا را انجام داده اند. به منظور تعیین اثرات الیاف پلی پروپیلن با مقاومت بالا بر ظرفیت خمشی بتن مسلح الیافی، حدود چهار مقدار حجمی الیاف ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ و سه مقاومت فشاری بتن ۳۰، ۴۰ و ۶۰ مگاپاسکال مورد مطالعه قرار گرفتند. منحنی های تنش و خمش و ظرفیت جذب انرژی حاصل از این آزمایش به منظور بررسی ظرفیت خمشی بتن با الیاف پلی پروپیلن، بخصوص بتن با مقاومت بالا مورد استفاده قرار گرفت. بتن با مقاومت بالا با مقدار حجمی ۰/۲۵ درصد از الیاف پلی پروپیلن، ظرفیت خمشی بالاتری از بتن سبک معمولی تقویت شده با درصدی از حجم مشابه دارد. اثر تقویت الیاف پلی پروپیلن در ظرفیت خمشی بتن با مقاومت بالا در بخش های حجمی بیش از ۰/۵۰ درصد بود (Lee et al. 2016). کاکویی و همکاران، به بررسی نتایج خواص بتن مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن پرداخته اند. مقاومت فشاری، نفوذپذیری و مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه های بتنی با مقادیر الیاف متفاوت، از ۰ تا ۲ کیلوگرم بر مترمکعب مورد آزمایش قرار گرفتند. همچنین نمونه ها با سنگدانه های مرجانی و سیلیسی نیز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نمونه هایی با الیاف پلی پروپیلن اضافه شده با وزن ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب در مقایسه با دیگر نمونه ها نتایج بهتری نشان دادند. علاوه بر این، بتن با سنگدانه های مرجانی، مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری کمتری در مقایسه با نمونه های ساخته شده از سنگدانه های سیلیسی نشان دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که سنگدانه های مرجانی برای ساخت بتن و یا استفاده در سازه های بتنی در بستر ساحلی دریا مناسب نمی باشند (Kakooei et al. 2012). بهفرنیا و بهروان،

استفاده از الیاف پلی پروپیلن در پوشش بتنی تونل های آب را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. محاسن و معایب الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده برای پوشش بتن تونل آب نیز ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که الیاف پلی پروپیلن در مقایسه با الیاف فولادی در بهبود مقاومت فشاری زیاد موثر نبودند، اما تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر بهبود مقاومت کششی، مقاومت خمشی، سختی و جذب انرژی بتن معنی دار بود. بر اساس نتایج، اثرات الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتن مانند مقاومت خمشی، نفوذپذیری بتن و مقاومت به نفوذ کلرید بالاتر از الیاف فولادی بود. نتایج همچنین نشان داد که با استفاده از الیاف پلی پروپیلن، مقاومت سایشی، دوام و قابلیت کارکرد لایه های سطحی بتن مورد بهبود قرار گرفت (Behfarnia and Behravan, 2014). رحمانی و همکاران به بررسی تاثیر الیاف کولار بر بهبود مقاومت سایشی، خمشی و ضریب هدایت هیدرولیکی بتن میکروسیلیسی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که الیاف کولار در حضور سیلیکافیوم باعث بهبود خواص مکانیکی بتن شده و مقاومت سایشی و خمشی را افزایش داده و باعث کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی بتن گردیده که نهایتاً منجر به افزایش دوام بتن می شود (Rahmani et al. 2020). پیروتی و همکاران استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بهبود خصوصیات مکانیکی بتن را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی، خمشی و سایشی بتن گردید، ولی در مقایسه با سایر خواص مکانیکی بتن، تاثیر بیشتری در بهبود مقاومت کششی و خمشی بتن از خود نشان داد (Piroti et al. 2020). افروقسابت و اوزبکالوگلو به بررسی اثرات افزودن الیاف فولادی و پلی پروپیلن بر روی برخی خصوصیات مکانیکی و دوام بتن پرداختند. الیاف فولادی که در انتهای خود حلقه داشتند و طول آنها ۶۰ میلیمتر بود، در چهار حجم مختلف الیاف ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به کار گرفته شدند. الیاف پلی پروپیلن با طول ۱۲ میلیمتر در مقادیر ۰/۱۵، ۰/۳۰ و ۰/۴۵ درصد حجمی به کار رفتند. در تمام بتن های تقویت شده با الیاف، ۱۰ درصد سیلیکافیوم

ای بر روی نمونه ها انجام گرفت. براساس نتایج بدست آمده، افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش انرژی شکست شد. همچنین، نتایج نشان دادند که اضافه کردن مقدار مشخصی از الیاف به بتن، به طور قابل توجهی ریزساختار آن را تغییر می دهد و مشاهده گردید که در این حالت کمترین ترکهای مویی در ناحیه عبوری فاز بین خمیر و سنگدانه در بتن حاوی الیاف فولادی، رخ می دهد and Smarzewski (2017) (Barnat-Hunek, 2017). کایانو و همکاران در این تحقیق نتایج آزمایشات بر روی نمونه های بتنی که با الیاف پلی پروپیلن تقویت شده بودند، را مورد بررسی قرار دادند. به طور خاص، نمونه ها از پنج نوع مخلوط به همراه بتن مرجع، در مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن تحت مقاومت فشاری و خمشی مورد آزمایش واقع شدند. این مطالعه با هدف بررسی تاثیر ترکیب های مختلف این الیاف بر رفتار شکست بتن مسلح انجام شد. همانطور که انتظار می رود، نمونه های بتن الیافی مقادیری را نشان دادند که نسبت به مقادیر بتن مرجع بیشتر بود. همچنین نمونه هایی که از الیاف پلی پروپیلن ساخته شده بودند، بسیار مقاومتر در برابر خرد شدن بودند و پس از ترک خوردگی ایجاد شده در نمونه های بتن الیافی، در مقایسه با حالت بدون الیاف، برای محدوده ای که باز شدن ترک های کوچک دیده می شد، قابلیت شکل پذیری افزایش یافت، همچنین یک پاسخ مشخص سخت شدگی مجدد را نیز به همراه داشت (Caggiano et al. 2016). گردیک و همکاران تحقیق در مورد مقاومت سایشی بتن معمولی و بتن تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند. نسبت آب به سیمان از ۰/۵ تا ۰/۷ متغیر بوده ولی سایر مشخصات در طرح اختلاط بتن، ثابت بوده است. آزمایش مقاومت سایشی بر روی نمونه های بتنی انجام شده است که جت آب با سرعت بالا همراه با مخلوط آب و ماسه سیلیسی (روش ماسه پاشی آبی)، بر روی سطح نمونه های آزمایشی، شلیک می شود. نتایج تحقیقات نشان داد که مقاومت سایشی بتن با فاکتور نسبت آب به سیمان نسبتی معکوس دارد، همچنین بتن های دارای مقاومت فشاری بالا، از مقاومت خمشی و سایشی بالا نیز برخوردار هستند

جایگزین سیمان گردید. مقاومت خمشی، مقاومت الکتریکی و قابلیت جذب آب نمونه های بتنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعات تجربی نشان دادند که سیلیکافیوم هر دو خصوصیات مکانیکی و دوام بتن را افزایش می دهد. نتایج همچنین نشان دادند که استفاده همزمان از الیاف فولادی و پلی پروپیلن باعث بهبود خصوصیات مکانیکی بتن شده است. همچنین مشاهده گردید که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی به طور قابل توجهی مقاومت خمشی بتن را افزایش داده است. در میان ترکیبات مختلف الیاف فولادی و پلی پروپیلن مورد مطالعه، بهترین عملکرد با یک ترکیب که شامل ۰/۸۵ درصد الیاف فولادی و ۰/۱۵ درصد الیاف پلی پروپیلن بود، حاصل شده است. نهایتاً نتایج حاکی از این بود که استفاده از الیاف در بتن باعث کاهش جذب آب و بسته به نوع الیاف، باعث کاهش چشمگیر مقاومت الکتریکی بتن در مقایسه با بتن معمولی شده است (Afroughsabet and Ozbakkaloglu, 2015). کاراتاس و گیونس خواص بتن خود متراکم که توسط الیاف پلی پروپیلن و فولادی تهیه شده بود، را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در محدوده مطالعه ای که انجام گردید از مصالح رودخانه ای طبیعی به قطر سنگدانه ۱۵ میلیمتر و همچنین از فوق روان کننده پلی کربوکسیلات استفاده شد. از الیاف پلی پروپیلن و فولادی در مقادیر مختلف به طور مجزا و ترکیب شده در نمونه های بتن خود متراکم استفاده شد و با خواص تازه و سخت شده بتن خود متراکم که در آن از الیاف فولادی استفاده نشده بود مقایسه گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که اگر در نمونه ها به مقدار مناسب و بهینه از الیاف مذکور استفاده شود، می تواند بتن خود متراکم را از لحاظ خصوصیات مکانیکی و مهندسی بهبود بخشد (Karatas and Gunes 2015). سماریوسکی و بارنات هونیک به بررسی اثر الیاف ترکیبی فولادی و پلی پروپیلن بر خواص مکانیکی و ریزساختار بتن با کارایی بالا پرداخت. آزمایش ها در این نوع بتن در حالت ترکیبی همراه با الیاف و دیگری بدون الیاف با مقادیر ۰/۲۵-۱ درصد انجام شد. در این مطالعه، از سنگدانه گرانیتهی به قطر تقریبی ۲/۸ میلیمتر استفاده شد. آزمایش های مقاومت خمشی سه نقطه

- سیمان مصرفی از نوع پرتلند تیپ ۱ (نوع ۵۲/۵N) می‌باشد.

- نوع الیاف مصرفی در بتن، کولار به طول و قطر ۱۹ و ۰/۱ میلی‌متر ساخت شرکت فرکوفایبر تهران بوده و مقدار حجمی الیاف موردنظر ۰، ۰/۱۰، ۰/۲۰، ۰/۳۰ و ۰/۴۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ الیاف کولار مصرفی در بتن را نشان می‌دهد. در جدول ۱ مشخصات فیزیکی الیاف کولار مصرفی نشان داده شده است.

- پودر نانوسیلیس مصرفی ساخت شرکت ایساتیس تهران و مقدار ۴ درصد وزنی سیمان جایگزین گردید. شکل ۲ پودر نانوسیلیس مصرفی در بتن را نشان می‌دهد. در جدول ۲ مشخصات فیزیکی پودر نانوسیلیس مصرفی نشان داده شده است.

- مصالح سنگی (شن و ماسه) بر اساس استاندارد ASTM C136 دانه بندی شده و هر دو از نوع شکسته بوده است.

- حداکثر قطر سنگدانه‌ها ۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

- اسلامپ نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C143-78 انجام گرفت و در محدوده ۱۶۰-۵۰ میلی‌متر بوده است.

- فوق روان کننده مصرفی از نوع Glenium SKY 592 می‌باشد.

با توجه به سطح ویژه قابل ملاحظه نانوسیلیس و نیاز به آب زیاد برای کسب روانی لازم، برای رسیدن به کارایی موردنظر بایستی از فوق روان کننده استفاده شود.

طرح اختلاط بتن نانوسیلیسی حاوی الیاف کولار، مطابق استاندارد ACI 211 به روش وزنی انجام گرفته که نتیجه آن در جدول ۳ ذکر شده است.

در جدول ۱ مقادیر وزنی الیاف با توجه به حجم ملات، بصورت ذیل بدست آمده است:

$$0/64 \text{ m}^3 = (500/3200 + 900/2600 + 160/1000) = \text{حجم ملات}$$

$$0/6 \text{ Kg} = 0/10 \times 950 \times 0/64 = \text{وزن الیاف برای } 0/10 \text{ درصد}$$

حجمی

$$1/2 \text{ Kg} = 2 \times 0/6 = \text{وزن الیاف برای } 0/20 \text{ درصد حجمی}$$

$$1/8 \text{ Kg} = 3 \times 0/6 = \text{وزن الیاف برای } 0/30 \text{ درصد حجمی}$$

$$2/4 \text{ Kg} = 4 \times 0/6 = \text{وزن الیاف برای } 0/40 \text{ درصد حجمی}$$

(Grdic et al. 2012). صدرممتازی و فصیحی، تلاش کردند تا اثر الیاف پلیمری بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی ملات‌ها در حضور نانوسیلیس را مورد آزمایش قرار دهند. اگرچه الیاف پلی‌پروپیلن دارای ویژگی‌های مفیدی هستند ولی پیوند ضعیف آنها با ماتریس سیمان محدودیت‌هایی باقی می‌گذارد. نتایج نشان دادند که پیوند الیاف در ماتریس به شدت بر توانایی الیاف برای تثبیت انتشار ترک در ماتریس بتن تاثیر می‌گذارد. بدین منظور چهار مقدار حجمی الیاف مورد آزمایش به صورت ۰، ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد در نظر گرفته شد. آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، جذب آب و انقباض ملات سیمان بر روی نمونه های بتنی انجام گردید. نتایج نشان دادند که وجود نانوسیلیس به طور قابل توجهی ویژگیهای جذب آب و خصوصیات مکانیکی بتن را بهبود می‌بخشد. همچنین از ملات های بررسی شده نتیجه گرفته شد که ویژگی‌های ریزساختاری ملات سیمان می‌تواند به طور موثری بهبود یابد که این موضوع در اثر ترکیب شدن با نانوسیلیس روی می‌دهد و باعث افزایش عملکرد الیاف پلی‌پروپیلن شده و تقویت خواص ملات‌ها در آنها نیز مشاهده گردید (Sadrmomtazi Fasihi, 2012). هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر الیاف کولار بر خواص رفتاری بتن در شرایط تنش ناشی از بارهای فشاری، کششی و مطالعه نفوذپذیری بتن های نانوسیلیکا در محدوده وسیع تر و به دست آوردن درصد بهینه آنها جهت استفاده در بتن سازه های هیدرولیکی و ساختمانی می باشد.

مصالح مورد استفاده و طرح اختلاط بتنی الیافی

در طرح اختلاط نمونه‌های بتنی الیافی حاوی پودر نانوسیلیس موارد زیر مد نظر قرار گرفت:

- مقاومت مشخصه طراحی، ۶۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شد.

- نسبت آب به سیمان در کلیه طرح‌های اختلاط ثابت و مقدار ۰/۳۲ لحاظ گردید.



شکل (۱): الیاف کولار مصرفی در بتن



شکل (۲): پودر نانوسیلیس مصرفی در بتن

جدول (۱): مشخصات فیزیکی الیاف کولار مصرفی در بتن

۹۰۰-۹۵۰	وزن مخصوص (Kg/m^3)
۴۰۰	مقاومت کششی (MPa)
۳۵۰۰	مدول الاستیسیته (MPa)
۱۹	طول الیاف (mm)
۰/۰۱	قطر الیاف (mm)
۱۸۰	دمای ذوب ($^{\circ}\text{C}$)

جدول (۲): مشخصات فیزیکی پودر نانوسیلیس مصرفی در بتن

۱۴۰۰	وزن مخصوص (Kg/m^3)
۱۴۰	سطح مخصوص (m^2/gr)
۱۰-۲۰ نانومتر	قطر متوسط دانه‌ها

جدول (۳): طرح اختلاط بتن الیافی حاوی پودر نانوسیلیس (Kg/m^3)

درصد فوق روان کننده	آب مصرفی	پودر نانوسیلیس	سیمان	ماسه	شن	الیاف مصرفی	نسبت آب به سیمان
۶	۱۶۰	۲۰	۴۸۰	۹۰۰	۸۵۰	۰/۶	۰/۳۲
						۱/۲	
						۱/۸	
						۲/۴	

۱۵۰ میلی متر، در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شده است. سرعت بارگذاری بر اساس این استاندارد ۳ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری نمونه عبارت است از حاصل تقسیم نیرویی که سبب شکست شده است، به سطح مقطع نمونه.

آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های

بتنی

آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بتن مطابق شکل ۳، بر اساس استاندارد BS1881-116 روی نمونه های مکعبی با ابعاد



شکل (۳): دستگاه آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتنی

سرعت بارگذاری بر اساس این استاندارد ۶۸۰ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. مقاومت کششی در آزمایش برزیلی از رابطه زیر محاسبه می گردد:

که در این رابطه P بار وارده در لحظه شکست، L طول استوانه، D قطر استوانه است.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi l D} \quad (1)$$

آزمایش مقاومت کششی (کشش برزیلی)

آزمایش مقاومت کششی بتن ناشی از کشش غیرمستقیم مطابق شکل ۴، بر اساس استاندارد ASTM C496 روی نمونه های استوانه ای استاندارد با ابعاد 150×300 میلی متر، در سن ۲۸ روزه انجام شده است.



شکل (۴): دستگاه آزمایش مقاومت کششی (آزمایش برزیلی) نمونه‌های استوانه‌ای بتنی

ای جهت اطمینان از تک محوری بودن جریان، با استفاده از قیر کاملاً آب بندی می‌شوند. سپس نمونه‌ها در داخل دستگاه قرار گرفته و درب دستگاه کاملاً محکم می‌گردد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ روز تحت فشار ۸ اتمسفر (۸ بار) آب قرار می‌گیرند. پس از اتمام آزمایش نمونه‌ها شکسته می‌شوند و میانگین عمق نفوذ آب در نمونه‌ها به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود.

آزمایش نفوذپذیری به روش عمق نفوذ

آزمایش نفوذپذیری بتن به روش عمق نفوذ (Penetration Method) مطابق شکل ۵، بر اساس استاندارد ISO 1920-5 روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد 150×300 میلی‌متر، در سن ۲۸ روزه انجام شده است. برای انجام این آزمایش ابتدا سطح جانبی نمونه‌های استوانه



شکل (۵): دستگاه آزمایش نفوذپذیری نمونه‌های استوانه‌ای بتنی

(درصد بهینه) بیشتر شود به دلیل پخش نامناسب الیاف مقادیر مقاومت فشاری در تمام سنین کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به ثابت ماندن فوق روان کننده در کلیه نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف، اسلامپ بتن کاهش می‌یابد که این مورد نیز بر روی کاهش مقاومت فشاری بتن تاثیر می‌گذارد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزودن ۰/۱۰ درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب ۲۸، ۲۴ و ۲۳ درصد و با افزودن ۰/۲۰ درصد الیاف

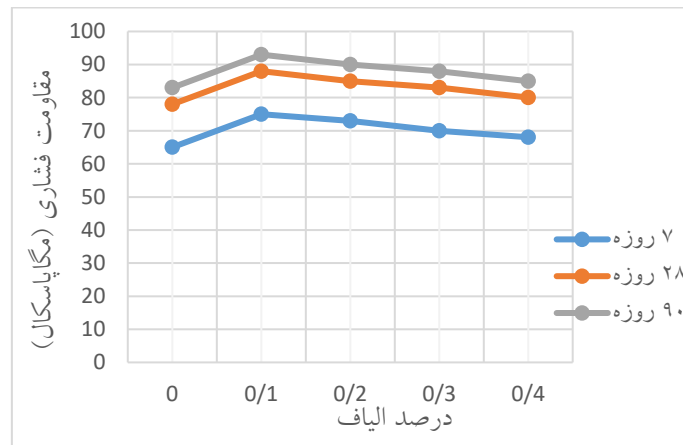
نتایج و بحث

نتایج آزمایش مقاومت فشاری

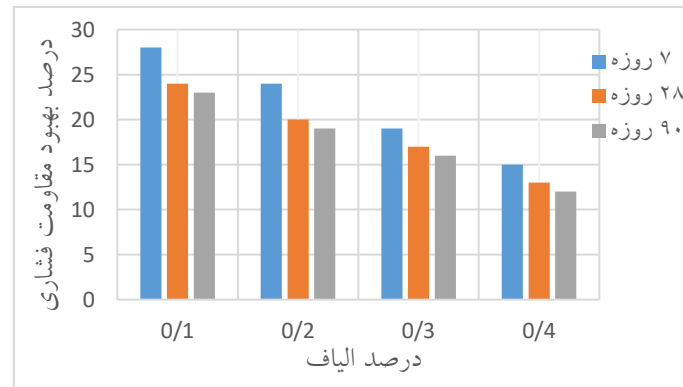
شکل ۶ منحنی تغییرات مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نمونه‌های حاوی الیاف و بدون الیاف را نشان می‌دهد. با توجه به این منحنی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از ۰/۱۰ درصد الیاف موجب افزایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه می‌شود. با افزایش الیاف بیش از ۰/۱۰ درصد مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش می‌یابد. علت این رفتار اینست که وقتی مقدار الیاف در بتن از حد معینی

می‌یابند. همچنین نمونه‌های بدون الیاف در هنگام شکست دچار نوعی از هم‌پاشیدگی می‌شوند که حضور الیاف این مشکل را بطور کامل مرتفع می‌کند.

مقاومت فشاری نمونه‌ها به ترتیب ۲۴، ۲۰ و ۱۹ درصد و با افزودن ۰/۳۰ درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌ها به ترتیب ۱۹، ۱۷ و ۱۶ درصد و با افزودن ۰/۴۰ درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌ها به ترتیب ۱۵، ۱۳ و ۱۲ درصد بهبود



شکل (۶): نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ازاء درصد الیاف



شکل (۷): نمودار درصد بهبود مقاومت فشاری نمونه‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ازاء درصد الیاف، نسبت به نمونه‌های مرجع

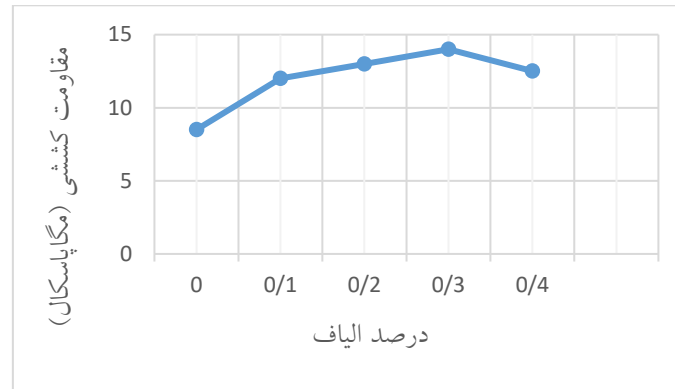
نتایج آزمایش مقاومت کششی

تعبیری افزودن الیاف بیش از ۰/۳۰ درصد به نمونه‌ها، احتمال پدیده گلوله‌ای شدن (Balling) وجود دارد که حاصل مقادیر زیاد الیاف بوده که در نتیجه آن اثر الیاف در بتن عملاً از بین خواهد رفت (شکل ۱۴). شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزودن مقادیر ۰/۱۰، ۰/۲۰، ۰/۳۰ و ۰/۴۰ درصد الیاف به نمونه‌ها، مقاومت کششی به ترتیب ۴۱، ۵۳، ۶۴ و ۴۷ درصد بهبود می‌یابد. مقاومت کششی بتن معمولی (بدون الیاف) بسیار پایین بوده که این خود از نقاط ضعف بتن به شمار می‌رود ولی حضور الیاف در بتن، با توجه به مقاومت کششی بالای الیاف، مقاومت کششی بتن را افزایش

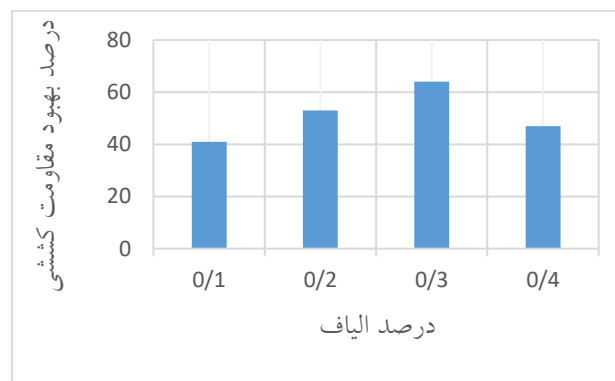
شکل ۸ نشان می‌دهد که با اضافه کردن ۰/۱۰ درصد الیاف تاثیر چشمگیری در افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها ایجاد می‌شود و در نسبت‌های الیاف بیشتر، مقاومت کششی با شیب کمتری، افزایش پیدا می‌کند. همچنین استفاده از الیاف تا ۰/۳۰ درصد باعث افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها شده و با افزودن الیاف بیش از ۰/۳۰ درصد مقاومت کششی نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند. علت این رفتار اینست که در شکل ظاهری نمونه‌های بیش از ۰/۳۰ درصد الیاف، پخش نامناسب الیاف مشهود بوده و خط گسیختگی نیز تقریباً از محل‌هایی که تراکم الیاف کمتر بوده گذشته است. به

صورت عبور الیاف عمود بر لبه‌های ترک، با پل زدن الیاف بین ترک‌ها یکپارچگی بتن تا تغییرشکل‌های زیاد حفظ شده و مقاومت کششی به دلیل دوزندگی ترک‌ها توسط الیاف بالا می‌رود.

داده و به شکل پذیری آن می‌افزاید. همچنین وجود الیاف در بتن که جسمی ترد و شکننده است، باعث افزایش انعطاف پذیری نمونه‌ها شده و مقاومت کششی بتن را ارتقاء می‌دهد. با حضور الیاف در نمونه‌های بتنی دو نوع وضعیت موازی و عمود بین ترک و الیاف مشاهده می‌شود که در



شکل (۸): نمودار تغییرات مقاومت کششی نمونه های بتنی به ازاء درصد الیاف

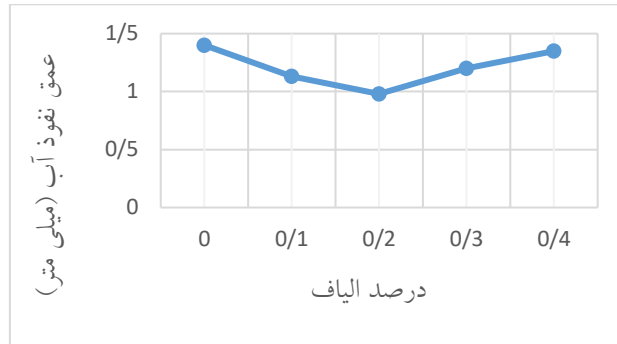


شکل (۹): نمودار درصد بهبود مقاومت کششی نمونه های بتنی به ازاء درصد الیاف، نسبت به نمونه‌های مرجع

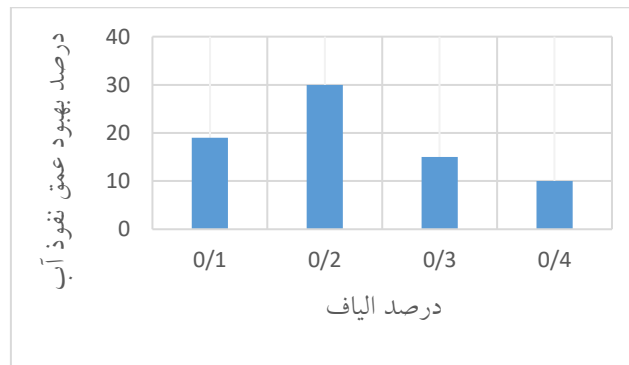
می‌باشد
شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با افزودن ۰/۱۰، ۰/۲۰، ۰/۳۰ و ۰/۴۰ درصد الیاف به نمونه‌ها عمق نفوذ آب به ترتیب ۱۹، ۳۰ و ۱۵ و ۱۰ درصد بهبود پیدا می‌کند
علت کاهش نفوذپذیری بتن در حضور الیاف به علت قرارگیری الیاف بین راههای ارتباطی منافذ و مسدود کردن آنهاست که در نتیجه آن خاصیت موئینگی که عامل تشدید نفوذپذیری است حذف می‌گردد و نفوذپذیری نمونه‌های بتنی کاهش می‌یابد.

نتایج آزمایش نفوذپذیری

شکل ۱۰ نمودار تغییرات عمق نفوذ آب نمونه‌های حاوی الیاف و بدون الیاف را نشان می‌دهد. با توجه به این منحنی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از ۰/۲۰ درصد الیاف باعث کاهش عمق نفوذ آب در نمونه‌ها شده و با افزودن بیش از ۰/۲۰ درصد الیاف، میزان این مقادیر افزایش می‌یابد. علت این رفتار بتن تخلخل بیشتر نمونه‌ها به علت اضافه کردن مقدار الیاف بیش از حد معین (درصد بهینه)



شکل (۱۰): نمودار تغییرات عمق نفوذ آب نمونه های بتنی به ازاء درصد الیاف



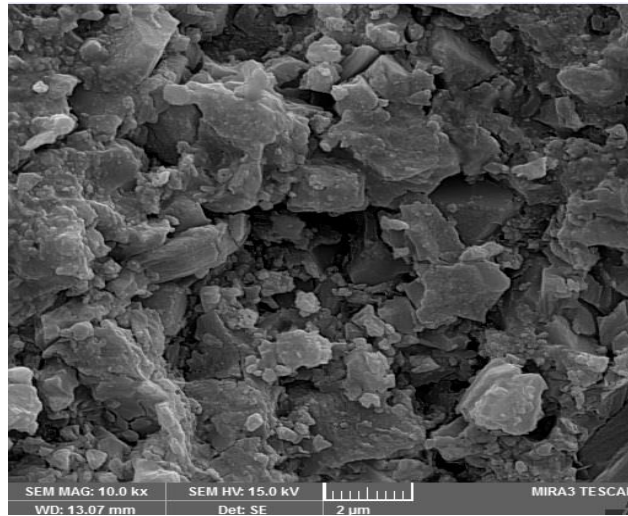
شکل (۱۱): نمودار درصد بهبود عمق نفوذ آب نمونه های بتنی به ازاء درصد الیاف، نسبت به نمونه های مرجع

آنها با استفاده از عکسهای میکروسکوپ الکترونی (SEM) در ساختار بتن کاملاً مشهود می باشد. در این تحقیق الیاف کولار و نانوسیلیس به بتن اضافه گردید، که شکل ۱۲ ساختار میکروسکوپی نمونه های بتنی مرجع، (نمونه های بدون الیاف و نانوسیلیس) و شکل ۱۳ ساختار میکروسکوپی، نمونه های بتنی حاوی ۰/۳۰ درصد الیاف کولار و ۴ درصد نانوسیلیس را نشان می دهد. عملکرد همزمان الیاف و نانوسیلیس در ساختار فیزیکی بتن باعث افزایش وزن مخصوص، تکمیل عمل هیدراتاسیون و پر کردن کلیه فضاهای داخلی و خلل و فرج بتن، که در نتیجه آن بتنی توپر با تخلخل و نفوذپذیری بسیار پایین حاصل می گردد.

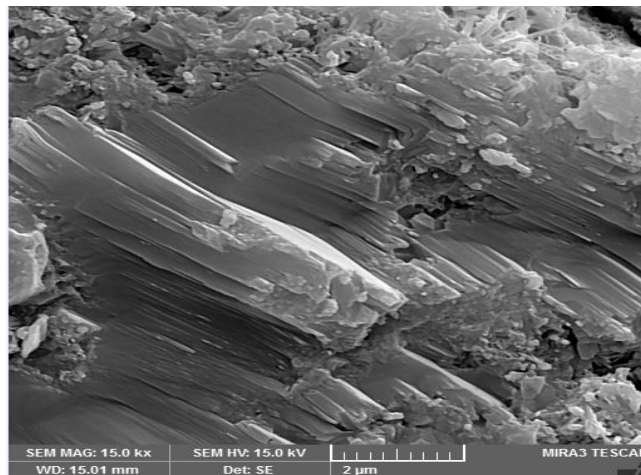
ساختار میکروسکوپی^۱ (SEM)

مطالعه ریزساختار خمیر سیمان و بتن با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) افق جدیدی را در فناوری بتن در سال های اخیر ایجاد نموده است. خصوصیات بتن از جمله وزن مخصوص و انواع واکنش های شیمیایی و هیدراتاسیون که در فرآیندهای گیرش اولیه و نهایی بتن ایجاد می شود، ارتباط مستقیم و نزدیکی با ساختار میکروسکوپی بتن دارد. بنابراین بررسی ریزساختار بتن در فرآیند هیدراتاسیون سیمان و وضعیت قرارگیری بتن در کنار افزودنی های مختلف امری ضروری است. از جمله مواد اضافه شده به بتن شامل انواع الیاف و پوزولان ها که عملکرد

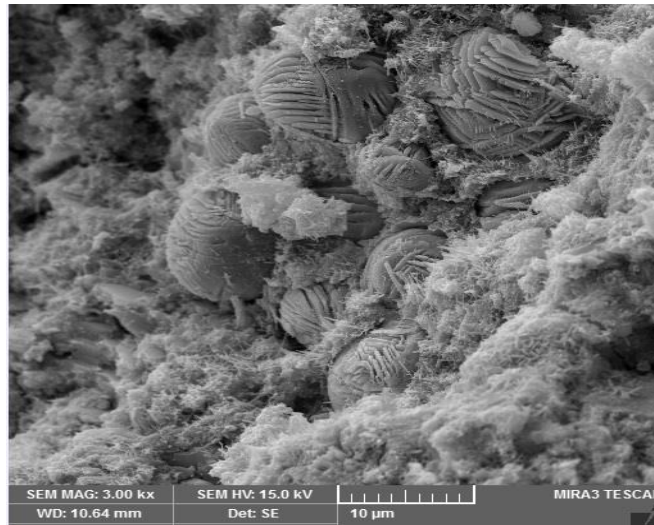
¹ Scanning Electron Microscope



شکل (۱۲): ساختار میکروسکوپی (SEM)، نمونه های بتنی مرجع، بدون الیاف و نانوسیلیس



شکل (۱۳): ساختار میکروسکوپی (SEM)، نمونه های بتنی حاوی ۰/۳۰ درصد الیاف کولار و ۴ درصد پودر نانوسیلیس



شکل (۱۴): ساختار میکروسکوپی (SEM)، نمونه های بتنی در شرایط گلوله‌ای شدن الیاف (Balling)

نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی مزایای استفاده از بتن های نانوسیلیسی حاوی الیاف کولار، نمونه های بتنی از لحاظ مقاومت فشاری، مقاومت کششی و نفوذپذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده به شرح زیر می باشد:

- استفاده از ۰/۱۰ درصد الیاف موجب افزایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه می شود. با افزایش الیاف بیش از ۰/۱۰ درصد مقاومت فشاری نمونه ها کاهش می یابد. علت این رفتار اینست که وقتی مقدار الیاف در بتن از مقدار بهینه بیشتر شود به دلیل پخش نامناسب الیاف مقادیر مقاومت فشاری در تمام سنین کاهش می یابد. همچنین با توجه به ثابت ماندن فوق روان کننده در کلیه نمونه ها با افزایش درصد الیاف، اسلامپ بتن کاهش می یابد که این مورد نیز بر روی کاهش مقاومت فشاری بتن تاثیر می گذارد.
- با اضافه کردن ۰/۱۰ درصد الیاف تاثیر چشمگیری در افزایش مقاومت کششی نمونه ها ایجاد می شود و در نسبت های الیاف بیشتر، مقاومت کششی با شیب کمتری، افزایش پیدا می کند. همچنین استفاده از الیاف تا ۰/۳۰ درصد باعث افزایش مقاومت کششی نمونه ها شده و با افزودن الیاف بیش از ۰/۳۰ درصد مقاومت کششی نمونه ها کاهش پیدا می کند. به تعبیری افزودن الیاف بیش از ۰/۳۰ درصد به نمونه ها، احتمال پدیده گلوله‌ای شدن (Balling) وجود دارد که در نتیجه آن اثر الیاف در بتن عملاً از بین خواهد رفت.
- استفاده از ۰/۲۰ درصد الیاف باعث کاهش عمق نفوذ آب (کاهش نفوذپذیری) در نمونه ها شده و با افزودن بیش از ۰/۲۰ درصد الیاف، نفوذپذیری بتن افزایش می یابد. علت این رفتار بتن تخلخل بیشتر نمونه ها به علت اضافه کردن مقدار الیاف بیش از مقدار بهینه می باشد.
- علت کاهش نفوذپذیری در بتن های حاوی الیاف، به علت قرارگیری الیاف بین راه های ارتباطی منافذ و مسدود کردن آنهاست که در نتیجه آن خاصیت موئینگی که عامل تشدید نفوذپذیری است حذف می گردد و نفوذپذیری نمونه های بتنی کاهش می یابد.
- با استناد به عکس های میکروسکوپ الکترونی (SEM) بتن های الیافی حاوی پودر نانوسیلیس دارای ساختاری توپر و متراکم بوده که مقاومت



فشاری و کششی آنها ارتقاء پیدا کرده و میزان
تخلخل و نفوذپذیری آنها کاهش یافته و در نهایت
خواص مکانیکی بتن را بهبود داده است.

منابع

- ASTM C136, 2010. Standard Specification for Standard Sand, Annual Book of ASTM standards.
- ASTM C143-78, 2010. Standard Test Method for Slump Experiment of Concrete.
- ASTM C496, 2010. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ACI Committee 211, 2009. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, American Concrete Institute, USA.
- Alsadey, S., Salem, M., 2016. Influence of polypropylene fiber on strength of concrete. American Journal of Engineering Research, vol. 5(7), pp. 223-226.
- Afroughsabet, V., Ozbakkaloglu, T., 2015. Mechanical and durability properties of high strength concrete containing steel and polypropylene fibers. Construction and Building Materials, vol. 94, pp. 73-82.
- BS 1881: Part 116, 1983. Testing Concrete: Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, British Standard Institution, London.
- Behfarnia, K., Behravan, A., 2014. Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. Materials and Design, vol. 55, pp. 274-279.
- Caggiano, A., Gambarelli, S., Martinelli, E., Nistico, N., Pepe, M., 2016. Experimental characterization of the post-cracking response in hybrid steel/polypropylene fiber-reinforced concrete. Construction and Building Materials, vol. 125, pp. 1035-1043.
- Grdic, Z., Toplicic Curcic, G., Ristic, N., Despotovic, I., 2012. Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. Construction
- ISO 1920-5, 2012. Testing of Concrete-Part 5: Properties of Hardened Concrete other than Strength, Article 5 of this standard specifies the procedure for determination of the depth of penetration of water under pressure.
- Kakooei, S., Md-Akil, H., Jamshidi, M., Rouhi, J., 2012. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. Construction and Building Materials, vol. 27, pp. 73-77.
- Karatas, M., Gunes, A., 2015. Engineering properties of self-compacting concrete produced by polypropylene and steel fiber. Periodica Polytechnica Civil Engineering, vol. 59(2), pp. 95-102.
- Lee, J.H., Cho, B., Choi, E., Kim, Y.H., 2016. Experimental study of the reinforcement effect of macro-type high strength polypropylene on the flexural capacity of concrete. Construction and
- Piroti, S., Najarchi, M., Hezavehi, E., Najafizadeh, M.M., Mirhosseini, S.M., 2020. The experimental assessment of the effect of polypropylene fibers on the improvement of Nano-silica concrete behavior. Scientia Iranica, vol. 27(2), pp. 682-692.



Rahmani, K., Piroti, S., Ghameian, M., 2020. Analysis of the Effect of Kevlar Fibers on Abrasion Resistance, Flexural Strength and Hydraulic Conductivity Coefficient of Silica Fume Concretes. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, vol. 44(2), pp. 669–674.

Smarzewski, P., Barnat-Hunek, D., 2017. Property assessment of hybrid fiber-reinforced ultra-high-performance concrete. International Journal of Civil Engineering, vol. 52, pp. 17-25.

Sadrmomtazi, A., Fasihi, A., 2010. Influence of Polypropylene Fibers on the Performance of Nano-SiO₂-Incorporated Mortar. Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering, vol. 34, pp. 385-395.